



Los efectos de la red vial en el comportamiento de viaje de las personas.

The effects of the street network on people's travel behaviour.

*Barrios, Patricia*¹

¹Natus Arquitectura, Managua, Nicaragua

¹patricia@natusar.com / <https://orcid.org/0000-0003-4755-5065>

Recibido el 25 de marzo de 2021, aprobado el 26 de mayo de 2021

RESUMEN | Esta investigación tuvo como objetivo explicar la influencia de los aspectos de la red vial como la conectividad y las características físicas de las calles en el comportamiento de viaje de los residentes de los barrios de la Carretera Masaya en Managua, Nicaragua. La metodología implementada fue mixta, recopilando datos cualitativos y cuantitativos. Se entregaron cuestionarios a los residentes de la zona que fueron analizados estadísticamente, se realizaron entrevistas semi estructuradas con expertos urbanos y se realizaron análisis geográficos con mapas, estos fueron los principales métodos de análisis aplicados. Los resultados del análisis inferencial mostraron una relación significativa entre la conectividad y las características físicas de la calle, con las elecciones modales que hicieron los residentes. Sin embargo, al comparar las cuatro áreas de estudio, el lugar de residencia marcó una diferencia en el comportamiento de viaje de las personas.

PALABRAS CLAVE | Comportamiento de viaje, red vial, forma urbana, elección modal, conectividad, características físicas

ABSTRACT | This research aimed to explain the influence of street network aspects such as connectivity and physical characteristics of streets on travel behavior among residents of the neighborhoods along the Masaya Highway in Managua, Nicaragua. The methodology implemented was mixed, collecting qualitative and quantitative data. Questionnaires were given to the residents of the area and statistically analyzed, semi-structured interviews were done with urban experts, and geographical analyses with maps were carried out, these were the main analysis methods applied. The results of the inferential analysis showed a significant relationship between connectivity and the street's physical characteristics, with the modal choices residents made. However, when comparing the four areas of study, the location of residency marked a difference in people's travel behavior.

KEYWORD | Travel behaviour, street network, urban form, modal choice, connectivity, physical characteristics

1. Introducción

El presente estudio se lleva a cabo en la ciudad capital de Nicaragua, Managua, con el fin de estudiar los efectos de la red vial en el comportamiento de viaje de las personas. Esta investigación académica se desarrolla durante una maestría en ciencias de Desarrollo y Gestión Urbana.

La ciudad de Managua tiene una población aproximada de 2,2 millones de habitantes en su región metropolitana (INIDE, 2018). Después del terremoto que devastó el centro de la ciudad en 1972, el crecimiento urbano se desplazó a lo largo de uno de los ejes principales, la carretera a Masaya. La historia de la ciudad indica que ésta se desintegró espacial, social y administrativamente (Brown y Bornstein, 2006), además de que se desarrolló un sistema de transporte confuso (Rodgers, 2004).

Según Suárez y López (2015), a partir de la década de los noventa la ciudad mostró un incremento en el sector inmobiliario de vivienda privada. Se desarrollaron residenciales segregados entre el kilómetro 7 y 14 del eje vial de la carretera a Masaya, que crearon comunidades residenciales pequeñas y cerradas en la zona sur de la ciudad. Para el año 2012, a lo largo de la carretera, ya existían aproximadamente 83 desarrollos habitacionales (Moncada, 2012).

Según Hamiduddin (2012), la demanda de transporte de una ciudad está controlada por la administración espacial del desarrollo residencial entorno al uso de suelo, ubicaciones y distribución. Por lo tanto, se explica que en la forma y estructura urbana de las ciudades es donde se nota la relación entre el transporte urbano y la forma espacial del desarrollo residencial.

Para Boeing (2018), la red vial se incorpora al espacio, dotando a las ciudades de geometría y topología. Los aspectos de la red vial son partes notables de las estructuras y formas urbanas, y también proporcionan un impacto significativo en el comportamiento de viaje de las personas (Moeinaddini et al., 2016). El comportamiento de viaje puede conceptualizarse como la forma en que los individuos toman decisiones de viaje, y las nuevas teorías sobre el comportamiento de viaje han estudiado el movimiento físico de las personas fuera de sus lugares de referencia en relación con la red vial de la ciudad (Axhausen, 2007). Por lo tanto, las elecciones de transporte están determinadas por el gusto, preferencias, estilos de vida, actitudes y condiciones sociodemográficas.

Los residentes que viven a lo largo de la carretera de Masaya han experimentado dificultades para desplazarse. Una posible razón podrían ser las características de la red vial de los barrios. La red vial podría afectar e influir en su comportamiento de viaje en diferentes aspectos, uno de ellos siendo la elección modal y el tipo de transporte que usan para movilizarse.

En las zonas suburbanas de Managua, los barrios y residenciales tienen una gran demanda de transporte que sólo es satisfecha por los servicios interdepartamentales de transporte público, lo que genera un déficit de transporte para los barrios a lo largo de la carretera. Actualmente las vías y calles han agotado su capacidad de diseño, lo cual dificulta la movilidad de las personas que necesitan transitar por la zona. Por otro lado, no se han realizado cambios significativos recientemente al sistema vial, lo que ha generado congestión en las calles que acceden a la carretera a Masaya (JICA, 2017a).

Como explican Zhao, Lu y de Roo (2010), la expansión urbana es uno de los factores importantes que influyen en los cambios en los patrones de desplazamiento. A pesar de que la carretera es una vía principal que conecta a los residentes con el centro de la ciudad, según estudios, existe una falta de conectividad y accesibilidad al transporte urbano (JICA, 2017b), además de una alta demanda

para vehículos particulares (Consorcio Team Red PROCAD, 2014).

Esta investigación tuvo como objetivo responder la pregunta; ¿Cómo influye la red vial (conectividad y características físicas de las calles) en el comportamiento de viaje (elección modal), de los residentes de las zonas residenciales a lo largo de la carretera a Masaya en la ciudad de Managua? Además de explicar las relaciones entre la red vial y el comportamiento de viaje de los residentes, también se pretende develar cómo es la conectividad y las características físicas de las calles para acceder a la carretera a Masaya, así como exponer cómo influye la conectividad y las características físicas de las calles en la elección modal al acceder a la carretera a Masaya.

Esta investigación aborda las relaciones entre la red vial y el comportamiento de viaje en un área de Managua, así como las necesidades de los usuarios del transporte público y privado en relación con la red vial de las áreas donde viven.

2. Desarrollo

Las formas urbanas se pueden definir y medir en diferentes modos, como densidad, ubicación de empleo, usos mixtos de suelo, diseño de calles y redes de transporte que pueden variar entre regiones (Chen y Akar, 2017; Crane, 2000; Badland, 2008). Considerando el contexto nicaragüense, los aspectos de forma urbana que se consideraron más apropiados para esta investigación se identificaron del entorno construido y las características de la red vial, siendo algunos de estos: medidas de conectividad, centralidad, agrupamiento y aspectos geométricos representados por las distancias, áreas y densidades de la red (Boeing, 2019).

Las calles o carreteras influyen en el buen funcionamiento de la infraestructura existente y el crecimiento futuro, así como la progresión de otros tipos de infraestructura urbana ya que son consideradas como la “columna vertebral de las ciudades”; la red vial es fundamental para la forma de las ciudades, guiando su crecimiento y evolución (Sharifi, 2019). La red vial varía desde redes urbanas densas y altamente interconectadas hasta escasas redes suburbanas de callejones. Las medidas utilizadas en el análisis incluyeron densidad de intersecciones de cuatro vías y el número de intersecciones por kilómetro cuadrado (Ewing y Cervero, 2010).

En el marco del concepto de red vial, en esta investigación se contemplaron la conectividad y las características físicas de las calles. La conectividad fue considerada como una configuración de accesibilidad (Lamiquiz y Lopez-Dominguez, 2015) y categorizada como una variable de diseño urbano (Badland, 2008). La conectividad urbana de las calles también puede depender de su jerarquía, dado que en otros estudios la conectividad de la calle se midió como la proporción del número de intersecciones de cuatro vías en un área (Lee, 2017). Boeing (2017) menciona que la alta conectividad de las redes proporciona más opciones de ruta para los residentes y que las diferentes configuraciones de la red vial pueden ofrecer rutas más directas, proporcionando una mayor conectividad en las calles. Las intersecciones de cuatro vías también reducen la distancia de viaje a un destino, ya que prestan rutas más directas (Wang et al. 2014).

Según otros autores, el concepto de conectividad se relaciona con el número de kilómetros lineales de calle por kilómetro cuadrado de un área, que se define como densidad de calles (Ball, 2012; Matley et al., 2000). Por lo general, las características físicas se consideran parte del diseño de una calle (Haybatollahi, 2015; Sharifi, 2019), y algunos estudios señalan que cuando hay cambios en las características del vecindario y las calles, el comportamiento del viaje también cambia (Cao, et 2007; Sharifi, 2019).

A continuación, se explican brevemente las características físicas de las calles seleccionadas que fueron consideradas en esta investigación. La longitud de la calle y segmentos es una de las propiedades geométricas de las redes viales en las que se enfocan algunos estudios (Strano, et al., 2018; Lamiquiz y López-Dominguez, 2015).

Los atributos de la red vial como la longitud y el ancho tienen vínculos con la conectividad y conexiones físicas de las calles (Sharifi, 2019). Además, Dill (2004) afirma que las medidas de conectividad como la densidad de calles, la densidad de intersecciones y la disponibilidad de transporte están correlacionadas entre sí, y otros estudios mencionan que mejoran las condiciones de transitabilidad urbana (Campoli, 2012; Sultana y Lei, 2018). Otros encontraron que la cercanía a las paradas de transporte público y los niveles de conectividad de las calles influyen en la cantidad de usuarios del transporte público (Ozbil et al., 2009).

Entre las características físicas del pavimento, se encuentra la textura superficial y las condiciones estructurales, que marcan una diferencia relevante entre las calles. Además, puede haber ciertos defectos de deterioro entre las calles como grietas, baches y depresiones (Thu Huong et al., 2016).

Para la presente investigación se encontró que la teoría más adecuada del comportamiento de viaje es la que describe este como un conjunto de actitudes y elecciones humanas al ejecutar actividades que requieren moverse de un lugar a otro, como ir al trabajo, la escuela, de compras y a lugares de ocio (Bartosiewicz y Pielesiak, 2019). También, un estudio realizado por la Agencia Japonesa de Cooperación Internacional (1999, 2017) en Managua, analizó algunas preferencias de comportamiento de viaje entre los residentes que viven en la ciudad, incluyendo la elección modal.

Según Yang et al. (2018), algunos de los factores que influyen en la elección modal de los residentes pueden ser características del modo de transporte, características sociodemográficas y actitudes subjetivas. Además, los modos de viaje tienen diferentes aspectos en términos de distancias, duración, costo, seguridad, comodidad, flexibilidad y conveniencia; donde los tipos de transporte pueden ser autobuses, minibuses, microbuses, traslados al lugar de trabajo y taxis (Guerra, 2018); entre otras opciones como metro, autobús de tránsito rápido y trenes pueden estar disponibles dependiendo de la ciudad. En el caso de Managua, los moto-taxis son una especie de motocicleta triciclo que puede transportar desde 1 hasta 4 personas.

Varios académicos e investigadores han intentado explicar la relación entre la red vial y el comportamiento de viaje desde diferentes aspectos. El análisis empírico encontró que el desarrollo urbano tuvo un impacto en el desplazamiento cuando se tomaron en consideración las características socioeconómicas de los residentes y la accesibilidad al transporte (Zhao, Lu y de Roo, 2010). Otros demostraron que los indicadores de la red vial pueden influenciar el comportamiento de los viajes (Moeinaddini et al., 2016), además de tener el potencial de afectar las decisiones de viaje, como el hecho de que, dependiendo de la red vial, la elección modal puede variar (Ewing y Cervero, 2010).

De la literatura se puede concluir la presencia de una relación activa entre los aspectos de la red vial y el comportamiento de viaje. Por ejemplo, se podría determinar que las características físicas y la conectividad de las calles influyen en la elección modal. Esta sección finaliza con un marco conceptual que indica las variables de la red vial de la investigación, influyendo en las variables de comportamiento de viaje seleccionadas.

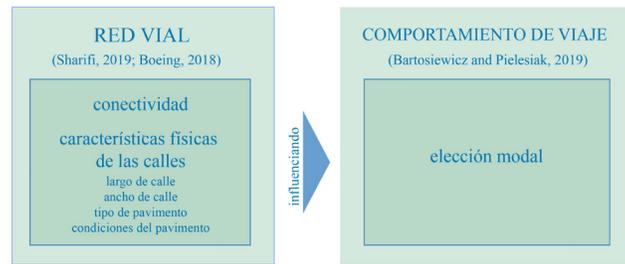


Figura 1: Cuadro conceptual . Fuente: Autor, 2019.

3. Metodología

Considerando el contexto de Nicaragua y otros estudios similares realizados en ciudades del mundo, se tomaron en cuenta ciertos indicadores y unidades de análisis que a continuación se describen.

Tabla 1: Operacionalización de Variables. Fuente: Elaborado por el autor, 2019.

Teoría / concepto	Sub variables	Definición	Indicadores	Unidades de análisis
Red Vial	Conectividad (Zhang, 2006; D’Sousa et al., 2006; Boeing, 2017; Larrañaga and Cybis, 2014; Ball, 2012; Matley et al., 2000)	Densidad de Intersecciones	Número de intersecciones de 4 vías	Cantidad por kilómetro cuadrado
			Número de intersecciones de 3 vías.	
	Características físicas de las calles (Haybatollahi, 2015; Sharifi, 2019; Cao, Mokhtarian y Handy, 2007).	Características y especificaciones de calles	Ancho de Calle	Metros
			Largo de Calle	Metros
			Tipo de Pavimento	<ul style="list-style-type: none"> • Asfalto • Adoquín • Hormigón
			Condiciones del Pavimento	<ul style="list-style-type: none"> • Bache • Grieta
Comportamiento de Viaje	Elección Modal (Badland, 2008; Guerra, 2018; Yang, et al., 2018; JICA, 1999)	Tipos de transporte usados para llegar a su destino	Tipos y número de transporte utilizados para llegar a su destino	<ul style="list-style-type: none"> • Caminar • Automovil • Taxi • Microbus • Autobús • Motocicleta • Bicicleta • Moto taxi

La variable del comportamiento de viaje considerada fue la elección modal, en cuanto al número y tipo de modos de transporte utilizados para llegar a su destino desde y hacia su residencia.

Las características de la red vial estudiadas en esta investigación fueron la conectividad y las características físicas de las calles. Según lo identificado por Frank et al. (2008), Lee (2017) y Larrañaga y Cybis (2014), la conectividad de las calles se mide por las intersecciones de cuatro y tres vías por kilómetro cuadrado conocidas como densidad de intersecciones. Dill (2012) y Matley

et al. (2000) también midieron la conectividad según las características de densidad de las calles, calculando el número de kilómetros lineales de calle por kilómetro cuadrado de área. Estudios anteriores abordaron las características físicas de las calles de la red vial de Managua al describir los tipos de pavimento y las condiciones del pavimento (JICA, 1999).

En la investigación se implementó una metodología mixta, en la que se recopilaron datos cuantitativos y cualitativos sobre el comportamiento de viaje de las personas, siendo este influenciado por la red vial de los barrios a lo largo de la carretera a Masaya.

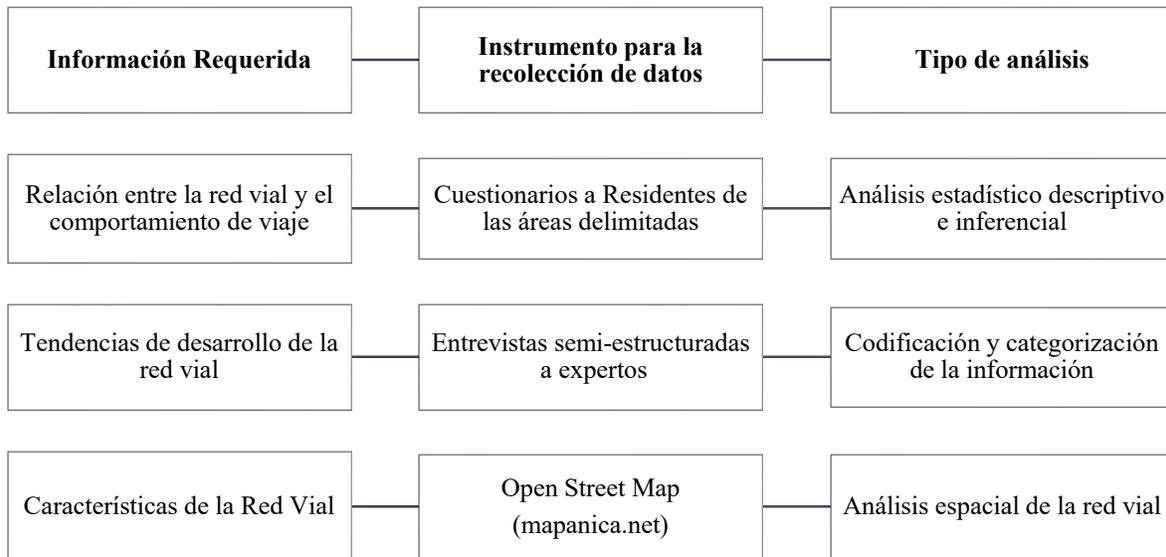


Figura 2: Diseño Metodológico. **Fuente:** Elaborado por el autor, 2019.

En el diseño de la metodología se realizaron varios pasos. El primer paso fue realizar nueve entrevistas semiestructuradas a profesionales que han trabajado en desarrollo urbano, transporte y planificación. Mediante preguntas abiertas fue posible recuperar información sobre el desarrollo de red vial, sobre las áreas residenciales y el contexto de movilidad en Managua. A falta de literatura nicaragüense, las entrevistas fueron valiosas para proporcionar la caracterización de la situación de la red de calles en el área.

Como segundo paso, mediante un análisis espacial se reconocieron y examinaron las características de la red vial del área delimitada, y se obtuvieron datos cuantitativos para describir algunos de las características espaciales de las calles, como la conectividad y las condiciones físicas de las calles. Utilizando el Sistema de Información Geográfica (GIS, por sus siglas en inglés), también fue posible localizar y delimitar las áreas de estudio, las ubicaciones de las paradas de bus y las ubicaciones aproximadas de las residencias de los participantes del cuestionario.

Adicionalmente, se investigó la relación de la red vial y el comportamiento de viaje entre los vecinos de la zona mediante un cuestionario que se realizó. Este se llevó a cabo en el domicilio del residente o en línea, con el objetivo de elevar la tasa de respuesta. Con la información recolectada se elaboraron análisis estadísticos para analizar la correlación entre las variables dependientes e independientes.

Parte de la información necesaria para describir cómo es la red vial para acceder a la Carretera Masaya, fue descargada del software de código abierto Open Street Maps (Mapas de Managua,

2019), donde se obtuvieron las líneas de las calles, los puntos de las paradas de bus, y la delimitación de los barrios y distritos de Managua.

Se seleccionaron cuatro áreas diferentes a lo largo de la carretera a Masaya para estratificar la muestra de los cuestionarios, y comparar el comportamiento de viaje entre las áreas con la información espacial del análisis GIS y los cuestionarios. La selección de las cuatro áreas del presente estudio consideró su conectividad, densidad, acceso al transporte público, diseño residencial, época en que se desarrolló, cercanía a la carretera Masaya e ingresos familiares. Ver Figura 3.

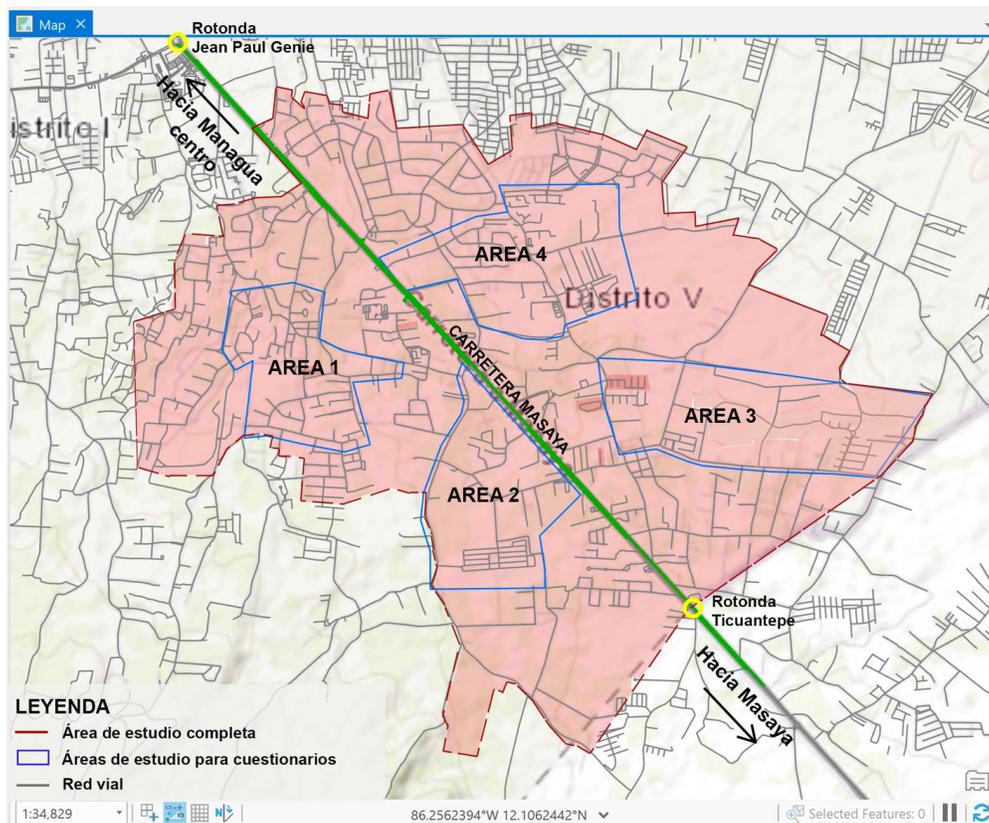


Figura 3: Delimitación de área de estudio. **Fuente:** Elaborado por el autor, 2019.

La primera área es de baja densidad con hogares de altos y bajos ingresos. Ésta se desarrolló durante la década de los años 80 y 90, por lo que las parcelas son más grandes en comparación con las otras áreas. También dispone de paradas de transporte público suburbano, así como una universidad privada cercana y algunos espacios comerciales.

Algunos de los barrios seleccionados para el Área 2 cuentan con conexión directa a la carretera a Masaya, así como la provisión de paradas de transporte público suburbano y otros tipos de transporte como moto-taxis. Esta es principalmente un área residencial con comunidades residenciales cerradas de hogares de ingresos medios y altos, al igual que lotes individuales de hogares de ingresos bajos. Existen zonas comerciales e industriales dentro del área que se encuentran junto a la carretera Masaya.

El área 3 comprende zonas semi-rurales, aunque también se observan comunidades residenciales cerradas de hogares de ingresos medios que comenzaron a desarrollarse en la década de 2000. En esta zona no hay transporte público urbano y se distingue menos densidad de calles.

Finalmente, el Área 4 está formada por barrios conocidos por sus callejones sin salida y su cuadrícula de calles irregulares, desarrollados a finales de la década de los 90 hasta hace algunos años. No hay ninguna parada de transporte público urbano dentro de esta área. Los hogares son de ingresos bajos hasta medios altos, y una parte de ellos se encuentran en comunidades residenciales cerradas con casas de dos pisos.

En Nicaragua, no se ha realizado un censo poblacional desde 2005; por lo tanto, se preparó un cálculo satelital de residencias para determinar la población total de las cuatro áreas seleccionadas, resultando en 2,010 residencias. Según el Banco Central de Nicaragua (2017), hay 4.5 habitantes por hogar en la ciudad de Managua, lo que significa que la población total de las cuatro áreas seleccionadas es de 10,405 habitantes aproximadamente. El tamaño de muestra propuesto para la realización de los cuestionarios fue de 150 habitantes en total para las cuatro áreas, distribuidos proporcionalmente según los habitantes por área. Por lo tanto, la distribución fue la siguiente: el área 1 está conformada por el 23% de la población, para la cual se realizaron 35 cuestionarios; el área 2 está compuesta por un 32%, lo que representa 49 cuestionarios de los encuestados; el área 3 es solo el 15% de la población, y se realizaron 23 cuestionarios; y finalmente, el Área 4 está conformada por el 29% de la población, en la que se realizaron 44 cuestionarios.

Con la información obtenida de Open Street Maps (Mapas de Managua, 2019) fue posible la recopilación de datos para el análisis espacial, el cual se analizó mediante el software ArcGIS Pro y se siguieron los siguientes pasos. Primero, el mapa de la red vial se obtuvo de Open Street Maps y se exportó a ArcGIS Pro. Luego, se creó una capa con sólo las calles del área delimitada y la delimitación administrativa de los barrios del municipio. Una vez recopilados y organizados todos los elementos necesarios en ArcGIS Pro, se establecieron las propiedades del análisis de la red vial para realizar los estudios requeridos, como la densidad de líneas para calcular la densidad de calles por área; y la herramienta de unión para calcular el número de intersecciones de 4 y 3 vías por kilómetro cuadrado.

Durante el llenado de los cuestionarios, se adquirió la ubicación aproximada del punto del hogar de los encuestados. Esto permitió realizar el análisis de proximidad a diferentes lugares como la Carretera Masaya y paradas de transporte público, que sirvieron para confirmar la información recogida en los cuestionarios.

Los datos cuantitativos recolectados de los cuestionarios se evaluaron con análisis estadísticos descriptivos e inferenciales, y la herramienta propuesta para este tipo de análisis fue el software SPSS. Dado que la mayoría de las variables del cuestionario eran categóricas, nominales y numéricas, fue posible ejecutar la prueba de Chi-Cuadrado, la prueba de ANOVA de una vía y la Prueba-T, con el fin de determinar la relación entre las características de la red vial y el comportamiento de viaje.

Para las entrevistas semiestructuradas, se sintetizó la información para ser analizada por medio de un informe, posibilitando el entendimiento de las tendencias de desarrollo de la zona de la Carretera Masaya. La categorización y codificación de la información se realizó de acuerdo a las variables de operacionalización mencionadas anteriormente en esta sección, así como las preguntas de investigación, las cuales fueron parcialmente respondidas con las entrevistas.

La triangulación de la información fue posible mediante el uso de diferentes métodos de recopilación de datos, y así se lograban respaldar los resultados mixtos del estudio entre sí.

4. Resultados

Resultados cualitativos de las entrevistas

En esta sección se presentan los hallazgos cualitativos recopilados de las nueve entrevistas semiestructuradas. Los entrevistados explicaron la posible influencia del desarrollo residencial del área de estudio en las características de la red vial de los barrios. Para ellos, el proceso de desarrollo y las acciones de gobernabilidad del gobierno son factores que han influido en las calles. A partir de las entrevistas, quedó claro que existe una falta de regulación y orientación por parte de la municipalidad y las instituciones gubernamentales, que actúan sólo cuando existe la necesidad de resolver problemas urgentes en relación a las características físicas de las calles.

Como aclararon los entrevistados, las calles no fueron diseñadas para soportar todo tipo de vehículos que circulan por ellas, y las comunidades residenciales cerradas predominantes de la zona no cuentan con conectividad entre ellas. Los arquitectos y urbanistas entrevistados coincidieron con la idea de que existe una falta de conectividad y que, debido a la falta de jerarquía de las vías, se ha obligado a los residentes a circular por las mismas calles.

También se mencionaron las corresponsabilidades entre las entidades reguladoras y los desarrolladores privados que, según varios de los entrevistados, deben ser abordadas de manera más eficiente en el futuro. Algunos de los entrevistados mencionaron que el gobierno municipal no tiene la capacidad de articular la planificación urbana de la red vial y que no hay respuestas con un criterio técnico adecuado.

Además, el gobierno municipal es responsable de supervisar y coordinar las obligaciones entre los desarrolladores, arquitectos y urbanistas cuando se licitan los proyectos. Debido a la falta de regulación y transparencia de los gobiernos, ha sido difícil introducir desarrollos que aborden las problemáticas de la zona. En las entrevistas también se abordó la relación entre los modelos residenciales de la zona, el acceso al transporte público y las preferencias de transporte de los residentes. De igual manera se explicó cómo se ha desarrollado la zona y la preferencia por el uso de vehículos privados, destacándose por la falta de accesibilidad al transporte público urbano.

Resultados cuantitativos de las encuestas y GIS

Los datos recolectados para el análisis geográfico como las líneas de la red vial, los puntos de ubicación de las paradas de transporte público y los polígonos de los límites de los distritos de la ciudad fueron recolectados de un sitio web nicaragüense de código abierto, cuya base es Open Street Maps. La delimitación de los barrios de la zona fue entregada por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales. Durante el proceso de las encuestas, también se realizó un seguimiento de la ubicación aproximada de las residencias de los encuestados y se agregó a la base de datos de ArcGIS, protegiendo su identidad por razones de seguridad.

Con los resultados del cuestionario y los análisis de ArcGIS, las siguientes subsecciones tienen como objetivo describir las características de la red vial, como las condiciones físicas y la conectividad. Como se explicó anteriormente, el área de la Carretera de Masaya, entre las rotondas Jean Paul Genie y Ticuantepe, está conformada por desarrollos residenciales en una región que fue considerada como rural hace varios años. Sin embargo, actualmente es relevante ya que también tiene desarrollos comerciales e industriales. Algunas comunidades cerradas son más densas que otras, lo que se suma al hecho de que todavía quedan lotes vacíos en las áreas aledañas.

Como se muestra en la Figura 4, la accesibilidad al transporte público suburbano se determinó mediante un análisis espacial con un área de amortiguación de 500 metros de radio para cada parada de autobús suburbano a lo largo de la red vial.

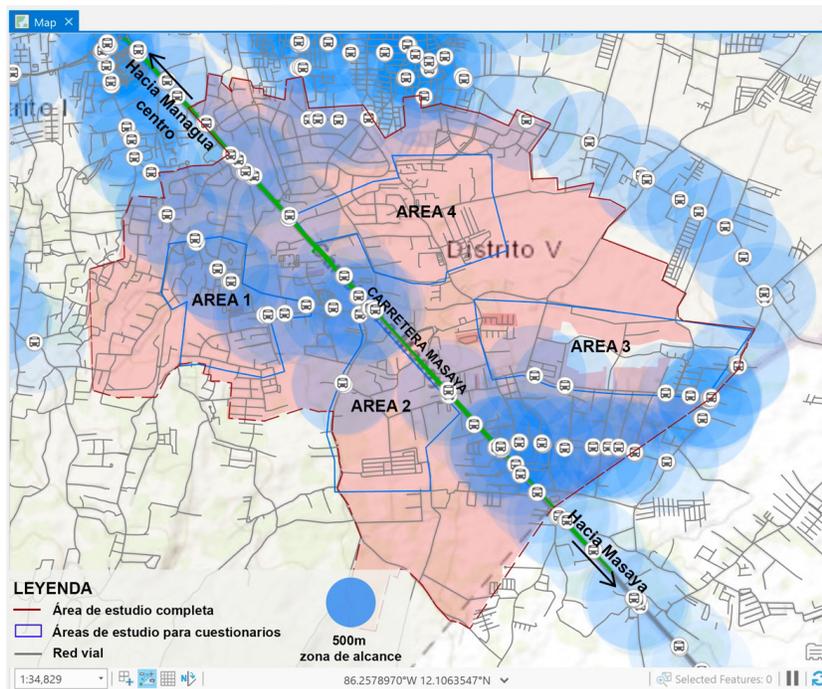


Figura 4: Ubicación de paradas de transporte público. Fuente: Elaborado por el autor, 2019.

Conectividad

Aspectos como la conectividad de las calles y la densidad de intersecciones brindan más opciones de rutas para los usuarios y también acortan las distancias (Sreelekha et al. 2016). En el cuestionario, el 86% de los encuestados respondió que podían tomar más de una ruta desde sus residencias hasta la carretera a Masaya. En la Figura 5 se muestran las rutas directas hacia la Carretera Masaya desde las residencias de los encuestados.

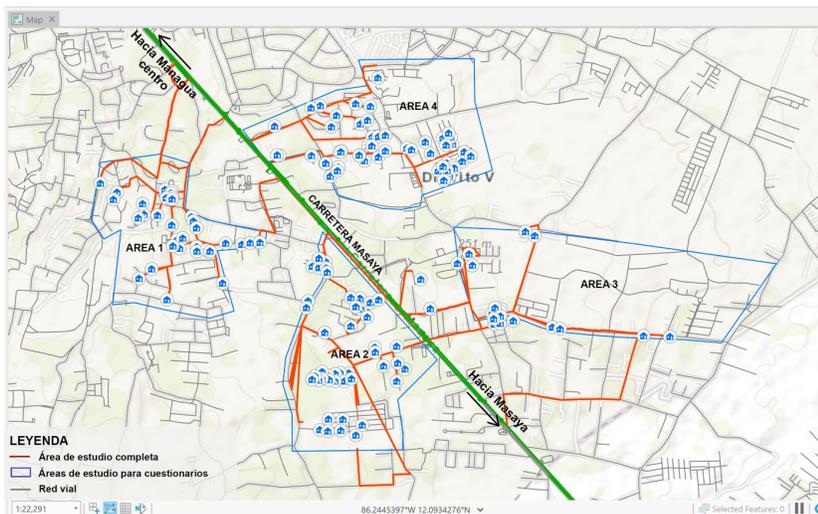


Figura 5: Ubicación aproximada de los encuestados y rutas directas a la Carretera a Masaya. Fuente: Elaborado por el autor, 2019.

Con ArcGIS Pro, se realizó un análisis de densidad de intersecciones en el área delimitada mediante el análisis de Kernel (Figura 6), que mostró la concentración de kilómetros lineales de calle por kilómetro cuadrado de área. Toda el área es igualmente densa, con mayor concentración de intersecciones en las Áreas 1 y 4. El Área 2 y el Área 3 son menos densas ya que todavía hay lotes vacíos que no han sido urbanizados.

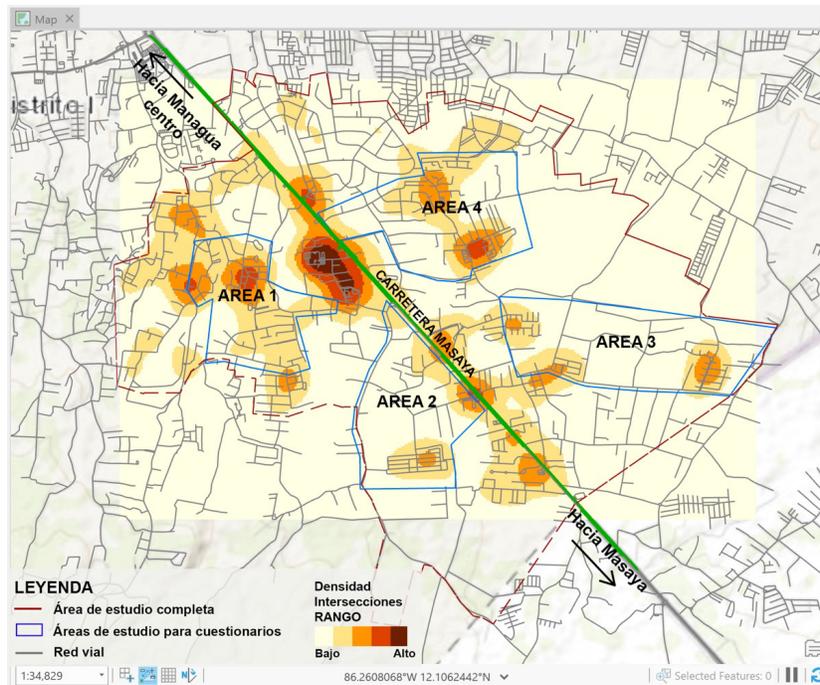


Figura 6: Análisis de Densidad de Intersecciones de la Red Vial. Fuente: Elaborado por el autor, 2019.

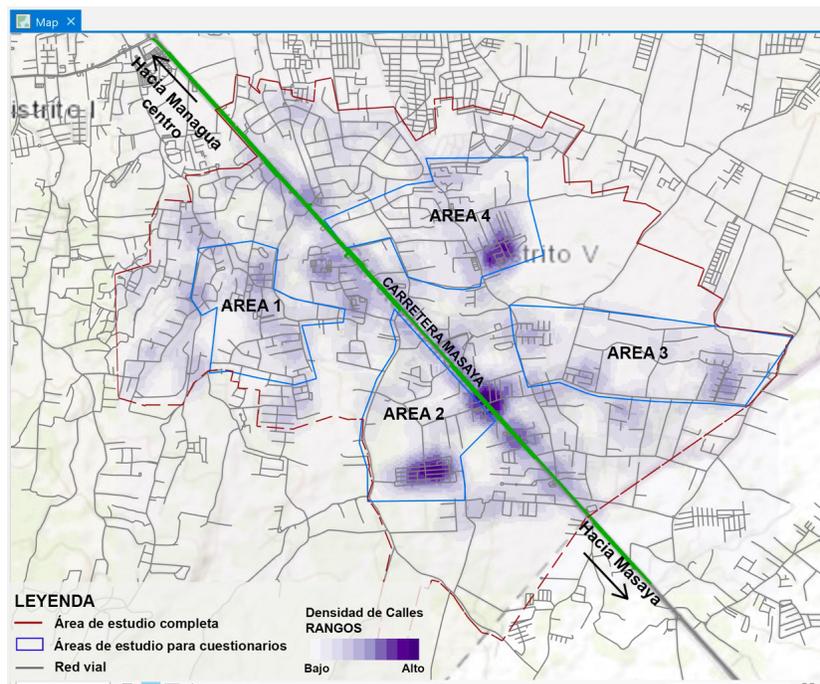


Figura 7: Análisis de Densidad de Calles. Fuente: Elaborado por el autor, 2019.

El análisis de densidad de calles muestra una mayor concentración en el Área 2 y el Área 4 (Figura 7). Estas zonas específicas de concentración se debieron a las áreas residenciales cerradas que tienen más de 200 viviendas en lotes pequeños en comparación con las áreas residenciales más antiguas en el Área 1 y el Área 3.

Características físicas de las calles

Residentes de Managua han cambiado su comportamiento de viaje para evitar posibles problemas en las vías, especialmente aquellos que viven más lejos de su lugar de trabajo (Bejarano, 2017), y se considera que una de las razones podría ser por las condiciones físicas de las calles. El 66% de los encuestados confirmaron que las características físicas de la calle sí influyeron en su selección de ruta para llegar a la Carretera Masaya; para el 63% de ellos la principal razón para cambiar de ruta fue por las condiciones del pavimento (Ver Figura 8).

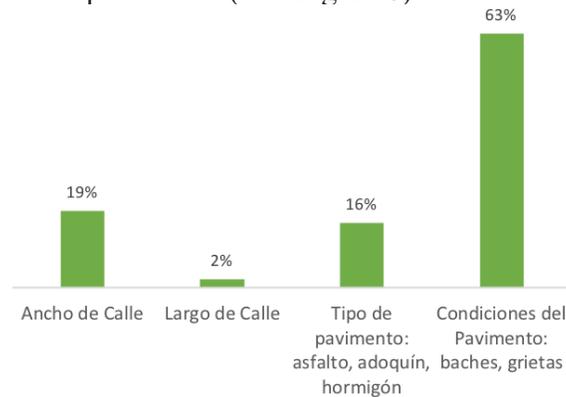


Figura 8: Condiciones físicas de las calles que influyen la selección de ruta hacia la Carretera a Masaya.

Fuente: Elaborado por el autor, 2019.

Se constató que las condiciones físicas de las calles fueron consideradas por los residentes durante el viaje y dependiendo de la zona donde viven, la relación fue determinante. Según los resultados, la zona con mejores condiciones de calles fue la Zona 2, con un 46% de los residentes que las consideran “buenas” y “excelentes”. Se observó que el Área 2 contaba con una única vía directa a la Carretera Masaya con un revestimiento de concreto, lo cual podría ser un aspecto determinante a tomar en cuenta ya que se consideró como el área con mejores condiciones físicas de las calles. La mayoría de las residentes del Área 4 consideró que las condiciones de las calles eran “regulares”.

De los resultados del cuestionario se puede concluir que el Área 1 y el Área 4 tenían una red vial más consolidada en términos de conectividad y densidad de calles, mientras que el Área 2 y el Área 3 presentaban áreas de baja y media densidad. En cuanto a las características físicas de las calles, éstas variaron entre malas, regulares y buenas en las Áreas 1, 2 y 3; pero el Área 4 fue ciertamente la más percibida como regular (Figura 9).

Red vial influenciando la elección modal

Al realizar los cuestionarios, las personas mencionaron que al ir al trabajo usaban automóviles, transporte público, moto-taxi o caminaban y cuando regresaban a casa, a menudo compartían transporte privado, compartiendo un vehículo con otra persona que conocían. En la Figura 10 se muestran los resultados, en los cuales se identifica que el uso de automóviles como medio de transporte al regresar a casa (45%) fue mayor en comparación a cuando las personas salen de casa (39%), seguido del transporte público (22%).

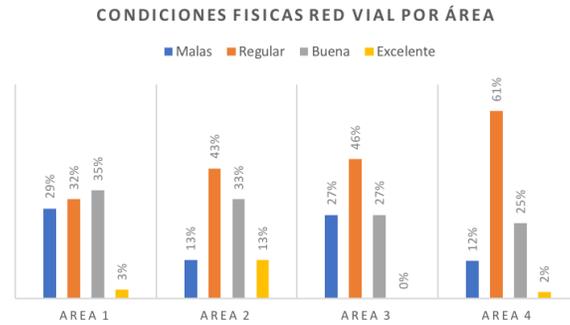


Figura 9: Condiciones físicas de las calles por área según los residentes. **Fuente:** Elaborado por el autor, 2019.

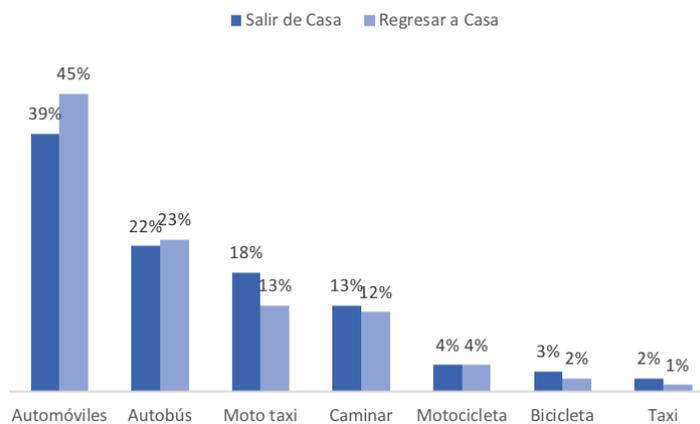


Figura 10: Elección modal al salir o regresar a casa. **Fuente:** Elaborado por el autor, 2019.

Además, cuando se les preguntó qué medio de transporte usaban más, los automóviles privados fueron seleccionados por la mayoría con un 62%, seguidos por los buses del transporte público con un 25%.

Los resultados muestran una relación significativa cuando las personas optan por transportarse en automóvil privado al salir de casa (0.055) y cuando regresan a casa (0.056), lo cual justifica porque el automóvil fue el modo de transporte más utilizado, además de la falta de accesibilidad al transporte público.

Por el alto uso de automóviles privados, estos resultados confirman que el área de estudio no fue planificada para peatones, lo que fue respaldado por las declaraciones de los entrevistados de que esta zona suburbana aún tiene una red vial con la estructura de caminos rurales.

El análisis inferencial y descriptivo mostró que las variables de la red vial como las características físicas, las condiciones físicas y la conectividad de las calles sí influyen en la selección de los modos de transporte entre los residentes de toda el área de estudio. Por lo tanto, existe una relación entre la clasificación de las condiciones físicas de la calle y el tipo de transporte más utilizado, que eran los automoviles y los autobuses de transporte público.

Diferencias entre las cuatro áreas de estudio

Considerando que se seleccionaron cuatro áreas diferentes dentro del área de estudio delimitada para hacer una comparación, se realizó un análisis descriptivo e inferencial para describir el comportamiento de las personas en cada una de las áreas.

Características físicas de las calles por área

Según las estadísticas descriptivas de las condiciones de la calle en el Área 2, Área 3 y Área 4, la mayoría de la gente percibió las condiciones físicas de la calle como “regulares”, mientras que la mayoría de los encuestados en el Área 1 consideró las condiciones como “buenas”.

En términos de conectividad, la información recopilada en los cuestionarios mostró que, al viajar desde sus residencias a la Carretera Masaya, las personas que viven en las Áreas 1 y 2 tenían más opciones de ruta a la vía principal. La relación de áreas y opciones de ruta obtuvo un nivel de significancia de 0.045, confirmando una relación entre ubicación de residencia y conectividad.

Elección modal por área

Los medios de transporte utilizados al salir y regresar a casa que mostraron una relación significativa con el lugar de residencia fueron el automóvil, autobús y moto-taxi. Según los comentarios de los encuestados, caminar como medio de transporte es una opción al trasladarse a la parada de transporte público o para hacer diligencias en su área de residencia.

El nivel de significancia del análisis Chi-Cuadrado entre áreas y el modo de transporte preferido es 0.000, lo que significa que existe una relación significativa entre el área en la que viven las personas y su preferencia de usar un automóvil o autobús para transportarse.

5. Conclusiones

Del análisis de las entrevistas se puede concluir que hubo falta de planificación por parte de las entidades gubernamentales, además de desorganización en cuanto a corresponsabilidades en la construcción de infraestructura para la ciudad, dejando vacíos en el desarrollo de la infraestructura en el área de la Carretera Masaya. El modelo de diseño de los residenciales y barrios que se desarrollaron han dado forma a las rutas por las que viaja la gente y, en algunos casos, obstruyen la conectividad entre vecindarios.

Es importante destacar que, para los residentes de las cuatro áreas de estudio, la accesibilidad al transporte público fue un aspecto determinante a considerar a la hora de decidir sobre sus opciones modales. Se puede concluir que las diferencias observadas en el análisis de las cuatro áreas de estudio, ya sea de la red vial y el comportamiento de viaje de las personas, están relacionadas a las diferentes características de los barrios, la época en que se desarrollaron y las características físicas de la red vial.

En relación a la conectividad y características físicas de las calles de acceso a la Carretera Masaya, se puede concluir que la red vial tiene características semi rurales ya que no ha habido mejoramiento en la estructura y conectividad de las calles a pesar de que hay mayor cantidad de tráfico y usuarios. No existen muchas vías colectoras alternativas que conecten con los subcentros de la ciudad. Por ser la Carretera Masaya una vía de alta velocidad, se obstruye con vehículos durante los períodos de horas pico.

Además, el área de estudio carece de conectividad entre las comunidades residenciales. El concepto de comunidad residencial cerrada no permite un patrón urbano denso con un diseño vial que soporte todos los modos de transporte ofrecidos en el área. No hay aceras, paradas de autobús adecuadas, nada que promueva cualquier otro modo de transporte que no sea el automóvil, lo que se suma al hecho de que la cuadrícula irregular del área hace que las distancias para caminar sean

más largas.

En cuanto a la red vial influyendo en las opciones modales al acceder a la Carretera Masaya, el medio de transporte que domina la zona fueron los automóviles, y la mayoría de las personas los usan para ir y volver del trabajo. Estos resultados apoyan la teoría de Moeinaddini et al. (2016), concluyendo que los elementos y características de la red vial tienen una relación con los viajes privados motorizados que se realizan diariamente. Tener una mejor conectividad con la Carretera Masaya permitiría a las personas tener más opciones de modos de transporte en diferentes lugares alrededor de sus residencias.

Otro factor determinante para la elección de los modos de transporte fueron las condiciones del pavimento de las calles, que variaba según la zona, afectando la elección de las personas entre caminar o tomar un mototaxi para llegar a la parada de autobús o la vía principal.

A partir de los conceptos de comportamiento de viaje, el comportamiento de elección modal estuvo influenciado por las variables de la red vial, como la conectividad y las características físicas de las calles. Los hallazgos de este estudio demuestran una situación similar con la teoría de Lee (2017) que menciona que los componentes construidos de las áreas residenciales son relevantes para la elección modal, incluyendo la densidad residencial, la conectividad de las calles y la accesibilidad a la red de transporte.

Es crucial no ignorar que no sólo la red vial influye en el comportamiento de viaje de las personas, sino también la dinámica de los residentes y la incompatibilidad del uso del suelo, que podría hacer que la red vial sea ineficaz.

6. Recomendaciones

Tomando en cuenta las conclusiones de la presente investigación, se proponen algunas recomendaciones claves para planificadores urbanos, arquitectos, contratistas y municipalidades de todo el mundo.

- Durante la planificación de las ciudades, se pueden utilizar varias herramientas para los procesos de desarrollo urbano. Es necesario aprovechar todo tipo de aportes de la comunidad, los estudiantes y la sociedad civil para identificar los problemas. En el caso de estudio presente, recopilar más información sobre las preferencias de viaje de las personas podría servir como pauta para que las autoridades puedan mejorar y seguir el desarrollo en el área.
- Las decisiones administrativas sobre la dinámica de la ciudad podrían mejorar la eficiencia de la red vial. En muchas ciudades de todo el mundo, se están implementando soluciones estratégicas que no requieren la construcción de nueva infraestructura. La municipalidad de Managua debe prestar atención a estas posibilidades, que han tenido éxito en otras ciudades sin realizar grandes inversiones, resolviendo problemas urbanos como la congestión del tráfico, los robos y el vandalismo.
- El cumplimiento de la implementación de las regulaciones y normativas urbanísticas de la ciudad es determinante para el ordenado desarrollo de la ciudad. Debería haber una implementación rígida de las regulaciones de la ciudad, así como el apoyo técnico responsable de las entidades municipales.
- El diseño urbano y la movilidad pueden contribuir a la inclusión social. Las condiciones

de viaje adecuadas permiten a los residentes integrarse y disfrutar de las ciudades, los servicios y los espacios públicos, además de acceder a la cultura y otras actividades de ocio. Es importante destacar que la problemática que se presenta en esta investigación, no recae íntegramente en las entidades públicas y privadas, sino también en todos los ciudadanos que formamos parte del organismo conocido como la «ciudad».

- Esta investigación enfatiza la necesidad de mejorar las condiciones del transporte urbano en la zona y las autoridades ya no pueden ignorar estas necesidades. Aumentar la conectividad entre los vecindarios también podría mejorar las circunstancias de transitabilidad u otro tipo de transporte no motorizado. Dicho esto, los modelos residenciales de la zona deben permitir una adecuada relación con el contexto donde se construyen.

7. Referencias

- Axhausen, K. (2007). *Concepts of travel behavior research*. ETH Zurich. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/237262766_Concepts_of_Travel_Behavior_Research
- Badland, H. (2008). Travel behavior and objectively measured urban design variables: Associations for adults traveling to work. *Health and Place*, 14 (1), 85-95. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2007.05.002>
- Ball, K. (2012). Street connectivity and obesity in Glasgow, Scotland: Impact of age, sex and socioeconomic position. *Health and Place*, 18 (6), 1307-1313. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2012.09.007>
- Bartosiewicz, B. and Pielesiak, I. (2019). Spatial patterns of travel behavior in Poland. *Travel Behaviour and Society*, 15, 113-122. <https://doi.org/10.1016/j.tbs.2019.01.004>
- Bejarano, M. (2017). *Congestionamiento afecta productividad laboral*, 27-06-2017. Managua: El Nuevo Diario. Disponible en: <https://www.elnuevodiario.com.ni/economia/432121-congestionamiento-afecta-productividad-laboral/>
- Boeing, G. (2017). OSMnx: New methods for acquiring, constructing, analyzing, and visualizing complex street networks. *Computers Environment and Urban Systems*, 65, 126-139. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.05.004>
- Boeing, G. (2018). Planarity and street network representation in urban form analysis. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 47(5) 1-15. <https://doi.org/10.1177/2399808318802941>
- Boeing, G. (2019). The morphology and circuitry of walkable and drivable street networks. *The Mathematics of Urban Morphology*. <https://doi.org/10.31235/osf.io/edj2s>
- Brown, D. and Bornstein, L. (2006). *Whither Managua? Evolution of a city's morphology*. In 42nd ISoCaRP Congress 2006, 1-16. Researchgate website: https://www.researchgate.net/publication/308991516_Whither_Managua
- Campoli, J. (2012). *Neighborhood form*. In *Made for Walking: Density and Neighborhood Form*. Cambridge: Lincoln Institute of Land Policy, 23-34.
- Cao, X., Mokhtarian, P. and Handy, S. (2007). Do changes in neighborhood characteristics lead

- to changes in travel behavior? A structural equations modeling approach. *Transportation*, 34 (5), 535-556. <https://doi.org/10.1007/s11116-007-9132-x>
- Chen, Y. and Akar, G. (2017). Using trip chaining and join travel as mediating variables to explore the relationships among travel behavior, socio-demographics, and urban form. *Journal of Transport and Land use*, 10 (1), 573-588. <https://doi.org/10.5198/jtlu.2017.882>
- Consortio Team Red PROCAD (2014). *Development of an interdepartmental transportation system between Managua, Masaya and Granada*. Report 1: Diagnosis of the current situation. Managua: Consorcio Team Red PROCAD.
- Crane, R. (2000). The influence of urban form on travel: an interpretive review. *Journal of Planning Literature*, 15 (1), 3-23. Disponible en: https://www.its.ucla.edu/wp-content/uploads/sites/2/2015/04/crane_jpl_proof.pdf
- Dill, J. (2004). *Measuring network connectivity for bicycling and walking*. Original paper submittal, not revised by author. Disponible en: <http://reconnectingamerica.org/assets/Uploads/TRB2004-001550.pdf>
- Ewing, R. and Cervero, R. (2010). Travel and the built environment. *Journal of the American Planning Association*, 76 (3), 265-294. <https://doi.org/10.1080/01944361003766766>
- Frank, L., Bradley, M., Kavage, S., Chapman, J., et al. (2008). Urban form, travel time, and cost relationships with tour complexity and mode choice. *Transportation*, 35, 37-54. <https://doi.org/10.1007/s11116-007-9136-6>
- Guerra, E. (2018). Urban form, transit supply, and travel behavior in Latin America: Evidence from Mexico's 100 largest urban areas. *Transport Policy*, (69), 98-105. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.06.001>
- Hamiduddin, I. (2012). Residential urban form and transport. In *International Encyclopedia of Housing and Home*, Elsevier, 137-143. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-047163-1.00712-8>
- Haybatollahi, M. (2015). Neighbourhood preferences, active travel behaviour, and built environment: An exploratory study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 29, 57-69. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.01.001>
- INIDE (2016). *Anuario Estadístico*. Managua: Instituto Nacional de Información de Desarrollo, 2018. Disponible en: <https://www.inide.gob.ni/docs/Anuarios/Anuario%20Estadistico%202016.pdf>
- JICA (1999). *Comprehensive Transportation Plan in the Municipality of Managua in the Republic of Nicaragua*. Managua: Japanese International Cooperation Agency.
- JICA (2017a). *Proyecto del Plan Maestro para el desarrollo urbano del municipio de Managua en la República de Nicaragua*, Parte 1: Condiciones Actuales. Managua: Japan International Cooperation Agency.
- JICA (2017b) *Proyecto del Plan Maestro para el desarrollo urbano del municipio de Managua en la República de Nicaragua, Informe Final*. Managua: Japan International Cooperation

Agency, 4:1-4:99.

- Lamiquiz, P. and Lopez-Dominguez, J. (2015). Effects of built environment on walking at the neighbourhood scale. A new role for street networks by modelling their configurational accessibility?. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 74, 148-163. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.02.003>
- Larrañaga, A. M. and Cybis, H. B. (2014). The relationship between built environment and walking for different trip purposes in Porto Alegre, Brazil. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 9 (4), 568-580. <https://doi.org/10.2495/SDP-V9-N4-568-580>
- Lee, J. (2017). Potential of converting short car trips to active trips: The role of the built environment in tour-based travel. *Journal of Transport and Health*, 134-148. <https://doi.org/10.1016/j.jth.2017.08.008>
- Matley, T., Goldman, L. and Fineman, B. (2000). Pedestrian Travel Potential in Northern New Jersey: A Metropolitan Planning Organization's Approach to Identifying Investment Priorities. *Transportation Research Record Journal*, (1705), 1-8. <https://doi.org/10.3141/1705-01>
- Moeinaddini, M., Asadi-Shekari, Z., Sultan, Z., Zaly Shah, M., et al. (2016). The relationship between urban street networks and private motorized trips at the city level. *Transportation Planning and Technology*, 39 (6), 612-623. <https://doi.org/10.1080/03081060.2016.1187811>
- Moncada, R. (2012). Más gente agrava vía, 12-05-2012. Managua: *La Prensa*. Disponible en: <https://www.laprensa.com.ni/2012/05/12/nacionales/101155-mas-gente-agravara-via>
- Open Street Maps (2019). *Nicaragua collaborators*. Maps of Managua. Disponible en: <https://datos.mapanica.net/>
- Ozbil, A., Peponis, J. and Bafna, S. (2009). *The effects of street configuration on transit ridership*. In Proceedings of the 7th International Space Syntax Symposium. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/242084180_The_Effects_of_Street_Configuration_on_Transit_Ridership
- Rodgers, D. (2018). “Disembedding” the city: crime, insecurity and spatial organization in Managua, Nicaragua. *Environment and Urbanization*, 16 (2), 113-124. <https://doi.org/10.1177/095624780401600202>
- Sharifi, A. (2019). Resilient urban forms: A review of literature on streets and street networks. *Building and Environment*, 147 (1), 171-187. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.040>
- Sreelekha, M. G., Krishnamurthy, K. and Anjaneyulu, M. (2016). Interaction between Road Network Connectivity and Spatial Pattern. *Procedia Technology*, 24, 131-139. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.05.019>
- Strano, E., Viana, M., Fontoura, L., Cardillo, A., et al. (2013). Urban street networks, a comparative analysis of ten European cities. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40 (1), 1071-1086. <https://doi.org/10.1068/b38216>
- Suárez, B. and López, N. (2015). *Segregación socio-residencial en la ciudad de Managua*. Managua: Uca Publicaciones.

- Sultana, N. and Lei, L. (2018). Trip chaining propensity and tour mode choice of out-of-home workers: evidence from a mid-sized Canadian city. *Transportation*, 47, 763-792. <https://doi.org/10.1007/s11116-018-9915-2>
- Thu Huong, N., Zhukov, A. and The Long, N. (2016). *On road defects detection and classification*. Aist. Disponible en: <http://ceur-ws.org/Vol-1710/paper26.pdf>
- Wang, X., Grengs, J. and Kostyniuk, M. (2014). Using a GPS data set to examine the effects of the built environment along commuting routes on travel outcomes. *Journal of Urban Planning and Development*, 140 (4). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000181](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000181)
- Yang, Y., Wang, C., Liu, W. and Zhou, P. (2018). Understanding the determinants of travel mode choice of residents and its carbon mitigation potential. *Energy Policy*, 115 (1), 486-493. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.01.033>
- Zhang, J. (2017). Life-oriented travel behavior research: an overview. *Transport Research Part A*, 104 (1), 167-178. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.06.004>
- Zhao P, Lü B, de Roo G. (2010). Urban expansion and transportation: the impact of urban form on commuting patterns on the city fringe of beijing. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 42(10), 2467-2486. <https://doi.org/10.1068/a4350>